

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-211147

(43)Date of publication of application : 20.08.1993

(51)Int.Cl.

H01L 21/3205

(21)Application number : 04-269430

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD

(22)Date of filing : 11.09.1992

(72)Inventor : OGAWA SHINICHI
NISHIMURA HIROSHI
YAMADA TATSUYA

(30)Priority

Priority number : 03280408

Priority date : 30.09.1991

Priority country : JP

03322681

06.12.1991

JP

03322682

06.12.1991

JP

03322685

06.12.1991

JP

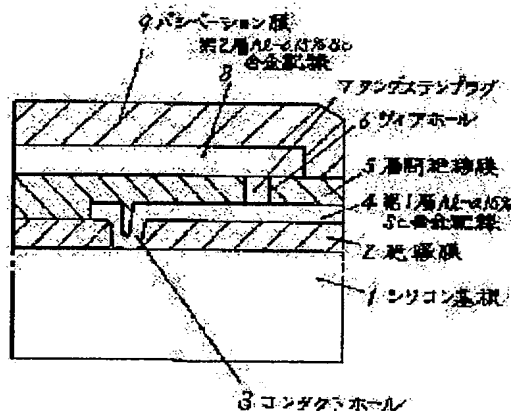
(54) ALUMINUM WIRING AND ITS FORMING METHOD

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain an aluminum wiring wherein discontinuity troubles due to stress migration and electromigration phenomena are not generated, when practical current and stress are applied, at the time of process and element operation in the manufacturing process of a large scale integrated circuit, and obtain forming method of the aluminum wiring.

CONSTITUTION: Al-Sc alloy wherein Sc in the 0.01% to 0.5% range is added to Al is used as aluminum wiring material 4, 8, and the hardness of wiring is increased.

After an Al-Sc thin film is formed, crystal grain is made larger than the wiring width by heat treatment. Thereby an aluminum wiring can be formed which has large resistance to stress migration and electromigration when practical temperature and current stress in a large scale integrated circuit is applied.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-211147

(43)公開日 平成5年(1993)8月20日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/3205

7735-4M

H 0 1 L 21/ 88

N

審査請求 未請求 請求項の数24(全 13 頁)

(21)出願番号 特願平4-269430

(22)出願日 平成4年(1992)9月11日

(31)優先権主張番号 特願平3-280408

(32)優先日 平3(1991)9月30日

(33)優先権主張国 日本(J P)

(31)優先権主張番号 特願平3-322681

(32)優先日 平3(1991)12月6日

(33)優先権主張国 日本(J P)

(31)優先権主張番号 特願平3-322682

(32)優先日 平3(1991)12月6日

(33)優先権主張国 日本(J P)

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 小川 真一

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 西村 宏

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 山田 達也

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(74)代理人 弁理士 小鍛治 明 (外2名)

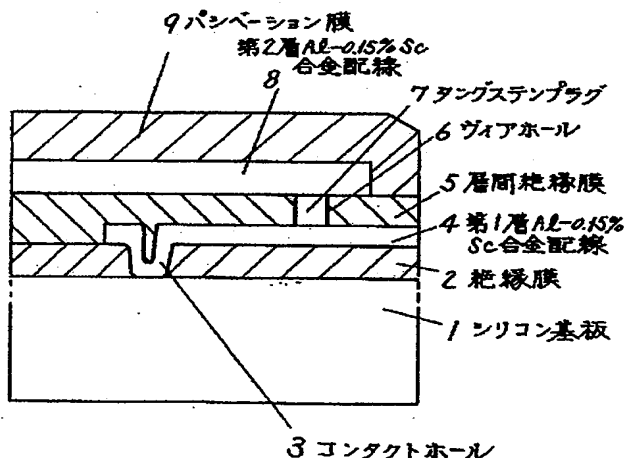
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 アルミニウム配線およびその形成方法

(57)【要約】

【目的】 大規模集積回路において製造工程でのプロセス時、及び素子動作時における実用的な電流、ストレスの印加を行っても、ストレスマイグレーション、エレクトロマイグレーション現象による断線不良が起らないアルミ配線、およびアルミ配線の形成方法を提供することである。

【構成】 アルミ配線材料4, 8として、0.01%から0.5%のScを添加したAl-Sc合金を用い、配線の硬度を高め、更にAl-Sc合金薄膜形成後、熱処理を行い結晶粒を配線幅以上に大きくすることにより、大規模集積回路における実用的な温度、電流ストレスの印加を行ってもストレスマイグレーション、エレクトロマイグレーション耐性の強いアルミ配線を形成することを可能にする。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】スカンジウムを不純物として含有するアルミニウム配線。

【請求項2】請求項1記載のスカンジウムが実質的に均一に分散しているアルミニウム配線。

【請求項3】請求項2記載のスカンジウムの一部が、アルミニウムとの化合物として分散しているアルミニウム配線。

【請求項4】請求項3記載の化合物の格子定数が、アルミニウムの格子定数の100%から103%の範囲内にあるアルミニウム配線。

【請求項5】前記スカンジウムの量が、0.01重量%から0.5重量%の範囲内にある請求項1から4の何れかに記載のアルミニウム配線。

【請求項6】アルミニウム層と、該アルミニウム層の上面及び下面の少なくとも一方の面に形成された導電層とを有する配線であって、
該アルミニウム層は、スカンジウムを不純物として含有している配線。

【請求項7】請求項6記載の導電層は、高融点金属材料からなる配線。

【請求項8】半導体基板と、該半導体基板上に形成された絶縁膜と、該絶縁膜に形成された開口部と、該絶縁膜上に形成され、該開口部を介して該半導体基板に接触する配線とを備えた半導体装置であって、
該配線は、スカンジウムを不純物として含有するアルミニウム層を有する半導体装置。

【請求項9】請求項8記載の配線は、更に、少なくとも前記アルミ層と前記半導体基板との間において、導電層を有する半導体装置。

【請求項10】第1の配線と、該第1の配線を覆う層間絶縁膜と、該層間絶縁膜に形成された開口部と、該層間絶縁膜に形成され、該開口部を介して該第1の配線に接触する第2の配線とを備えた半導体装置であって、
該第2の配線は、スカンジウムを不純物として含有するアルミニウム層を有する半導体装置。

【請求項11】請求項10記載の配線は、更に、少なくとも前記アルミニウム層と前記第2の配線との間において、導電層を有する半導体装置。

【請求項12】アルミニウム層と、該アルミニウム層の上面及び下面の少なくとも一方の面に形成された他の層とを有する配線であって、
該他の層は、スカンジウムを含有している層である配線。

【請求項13】前記他の層は、スカンジウムからなる層である請求項12に記載の配線。

【請求項14】アルミニウムと少なくともスカンジウムとを含有する合金ターゲットを用いたスパッタ法により、スカンジウムを不純物として含有するアルミニウム層を基板上に堆積する工程と、

2

該アルミニウム層を熱処理する工程と、
該アルミニウム層の一部を除去することにより、配線を形成する工程と、を含有する配線形成方法。

【請求項15】請求項14記載の熱処理の温度が、350℃以上である配線形成方法。

【請求項16】請求項14記載の堆積工程と、熱処理工程とを同時に行う配線形成方法。

【請求項17】スパッタ法により、スカンジウムを不純物として含有しているアルミニウム層と、該アルミニウム層の上面及び下面の少なくとも一方の面に形成された高融点金属材料とを有する多層膜を基板上に形成する工程と、

該多層膜を熱処理する工程と、
該多層膜の一部を除去することにより、配線を形成する工程と、を包含する配線形成方法。

【請求項18】請求項17記載の熱処理の温度が、350℃以上である配線形成方法。

【請求項19】半導体基板上に絶縁膜を形成する工程と、

該絶縁膜に開口部を形成する工程と、
スカンジウムを不純物として含有するアルミニウム層を該開口部を介して該半導体基板に接触するように該絶縁膜上に形成する工程と、を包含する配線形成方法。

【請求項20】請求項19記載のアルミニウム層を形成する工程の前に、少なくとも開口部に於て、導電層を形成する工程を包含する配線形成方法。

【請求項21】第1の配線を形成する工程と、
該第1の配線を覆うように層間絶縁膜を形成する工程と、

該層間絶縁膜に開口部を形成する工程と、
スカンジウムを不純物として含有するアルミニウム層を有する第2の配線を、該開口部を介して該第1の配線に接触するように、該層間絶縁膜上に形成する工程と、を備えた配線形成方法。

【請求項22】請求項21記載のアルミニウム層を形成する前に、少なくとも開口部に於て、導電層を形成する工程を包含する配線形成方法。

【請求項23】スパッタ法により、アルミニウム層と該アルミニウム層の上面及び下面の少なくとも一方の面に形成されたスカンジウム層とを有する多層膜を基板上に形成する工程と、

該多層膜を熱処理する工程と、
該多層膜の一部を除去することにより、配線を形成する工程と、を包含する配線形成方法。

【請求項24】請求項23記載の熱処理の温度が、350℃以上である配線形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は高集積度・高信頼性半導体装置の製造におけるアルミニウム配線材料およびその

形成方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体集積回路の高密度化にともなうて、アルミニウム配線の信頼性、いわゆるエレクトロマイグレーションやストレスマイグレーションが大きな問題となっている。なお、ここではアルミニウム (Al) 元素を主成分とする Al-X (X; 添加不純物) 合金からなる配線を称してアルミニウム配線と記述する。通常、アルミニウム配線材料としては、スパッタ法を用いて堆積した、Siなどを含有したアルミニウム合金が用いられている。従来、半導体装置におけるアルミニウム配線を形成する方法として、図2に示すように、半導体素子を形成したシリコン基板1上に、絶縁膜2に選択的に開口されたコンタクトホール3を介して第1層アルミ配線10を形成した後、層間絶縁膜5の堆積、平坦化を行い、前記層間絶縁膜5にビアホール6を形成した後、第2層配線11を形成し、更にパシベーション膜9を形成する方法が一般的である。

【0003】しかしながら、半導体装置の高密度化に伴って微細化されたアルミ配線は、アルミニウム配線形成後のプロセス中の熱処理、および半導体チップ組立後の実動作時に、周囲の層間絶縁膜およびパシベーション膜の引っ張り応力などによるストレスマイグレーション、電流と前記応力とに誘起されたエレクトロマイグレーションによりアルミニウム配線の断線を引き起こすという問題があった。

【0004】上記のような問題を解決する方法として、図2に示したように、不純物として銅 (Cu) を添加してアルミニウム配線の信頼性、特にストレスマイグレーション耐性を向上させる方法がある (例えば、アイ、イー、イー、イー、プロシーディング オブ インターナショナル リライアビリティー フィジクス シンポジウム (1987年) 15頁から21頁 (25th Ann. Proc. IEEE Int. Reliability Phys. Symp., 1987, pp. 15-21))。このような方法を用いれば、0.1%程度の銅を含有したアルミニウム配線を形成することにより、ストレス、電流印加中でのアルミニウム配線中の原子空孔の粒界拡散、格子拡散が抑制され、したがって微細配線中でのいわゆるボイド形成が抑止され、ストレスマイグレーション、エレクトロマイグレーション不良を減少させることができる。

【0005】また、他の方法として、アルミニウムと遷移金属との金属間化合物の領域を有するアルミニウム配線が提案されている (例えば、特公昭55-31619)。このアルミニウム配線構造は2種類あり、第1の構造においては、アルミニウム配線中に中間層として、アルミニウム38、40と遷移金属との金属間化合物39が層状に形成されている (図19)。また、第2の構造においては、アルミニウムと遷移金属を一緒に被着することにより金属間化合物が形成されている。このよう

な方法を用いることにより、電流印加中におけるアルミニウムや空孔の移動、拡散を減少させるため、エレクトロマイグレーション耐性の高い配線を形成することが可能となる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、銅を含有したアルミニウム配線では、配線幅がサブミクロンメートルとなっている現在、アルミニウム配線形成後の工程、例えば、400-500℃の温度で処理される、アルミニウム配線の下地として最近用い始めている化学的気相成長ブランケットタングステン堆積工程、層間絶縁膜堆積工程において、アルミニウム配線中にボイドが発生し断線に至る、いわゆる高温モード不良、および低温モードといわれている、50-150℃の半導体素子チップ動作時でのアルミニウム配線断線不良が発生するという問題があり、必ずしも信頼性上満足できるものではなかった。また、銅を含有したアルミニウム配線は、腐食による断線不良を引き起こしやすいという問題があった。

【0007】また上記のアルミニウム配線、例えば、アルミニウムと遷移金属との金属間化合物の領域を有するアルミニウム配線においては、金属間化合物が配線中に層状に形成されている場合 (第1の構造)、図20(a)に示すように金属間化合物39の上下に位置するアルミニウム層38、40にエレクトロマイグレーションによる空乏 (ボイド) 41、42が発生したとき、金属間化合物層39により配線の連続性は維持されるが、高抵抗の金属間化合物層39に配線を流れる全電流が集中するために、自己発熱により配線温度が上昇し、ボイドが成長していくので、時間とともに配線抵抗が増加してしまうという問題があった。

【0008】特公昭55-31619にはアルミニウムと遷移金属を一緒に被着することにより金属間化合物を形成したアルミニウム配線 (第2の構造) は、上記第1の構造に比べてエレクトロマイグレーション寿命が短くなると開示されている。また特公昭55-31619にはスカンジウム (Sc) を不純物として含有するアルミニウムからなる配線についての記載はされていない。

【0009】本発明は、上記従来の問題点を解決するために成されたもので、半導体装置の多層配線においてストレスマイグレーション、エレクトロマイグレーションによる断線不良を防止することのできる大規模集積回路における実用的な高信頼性のアルミニウム配線、およびその形成方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するために本発明の配線は、スカンジウム (Sc) を不純物として含有するアルミニウムから成るものである。また本発明の配線は、前記スカンジウムが実質的に均一に分散している。また本発明の配線は、前記スカンジウムの一部

5

が、アルミニウムとの化合物として分散している。

【0011】

【作用】本発明は上記した構成によって、アルミニウム中にスカンジウムを含有させ実質的に均一に分散させることにより、時効硬化によりアルミニウム配線を強化するので、転位の発生が抑えられ、ストレスマイグレーションに強い。

【0012】また、スカンジウムとアルミニウムの化合物がアルミニウムの結晶粒内に形成されるので、結晶粒内の空孔の移動を抑制し、ボイドの発生を抑える。このため、ボイドの発生による配線抵抗の上昇を抑制でき、さらに腐食による断線不良も発生しにくい。

【0013】したがって、配線形成後の高温熱処理、および半導体チップにおける実用的な電流、あるいは温度ストレスの印加を行っても、アルミニウム配線断線不良を誘発しない、高信頼性アルミ配線を形成することが可能となる。

【0014】

【実施例】本発明の実施例を図面を参照しながら説明する。

【0015】（実施例1）図1は本発明の実施例1における半導体装置のアルミ配線構造を示す断面模式図である。シリコン基板1上の絶縁膜2に選択的に開口されたコンタクトホール3を介して厚さ400nmのAl-0.15%Sc合金からなる第1アルミ配線4が前記シリコン基板1に結合され、さらに前記アルミ配線4は層間絶縁膜5に開口されたビアホール6中に埋め込まれたタングステンプラグ7を介して厚さ800nmのAl-Sc合金からなる第2アルミ配線8に接続され、これらの構造上はシリコン窒化膜、シリコン酸化膜などからなるパシベーション膜9に被覆されている。これらの配線構造においてアルミ配線4, 8の主成分であるAl中に0.01-0.5%のScを不純物として含んでいることが本発明の特徴の一つである。スカンジウムの含有量の下限を0.01%とした理由は、一般的にアルミニウムに0.01%程度の他の元素を添加するとアルミニウムの性質が著しく変化するからである。上限を0.5%としたのは、0.5%以上添加するとアルミニウムとスカンジウムとの化合物が配線中に過剰に析出するため、アルミニウム配線を形成するためのドライエッチング時にエッチング残りが生じ、配線間短絡不良が起こったり、配線抵抗が増加してしまう等の理由からである。また、スカンジウムのアルミニウム中への固溶度は、銅などの元素に比べて小さく、たとえば、温度400℃の場合、0.025%、450℃の場合、0.045%、500℃の場合、0.085%、550℃の場合、0.16%、655℃の場合、0.6%となる。このことを考えてみても、スカンジウムの場合、一般的に用いられている銅の添加量0.5%~4%に比べて少ない添加量で十分な効果を得ることができる。

【0016】図3に本発明の実施例1における半導体装置におけるアルミ配線を形成する工程断面図を示す。同

6

図(a)では、半導体トランジスタを形成したシリコン基板1上に絶縁膜2を堆積し、コンタクトホール3を選択的に開口した後、400nm厚のAl-0.15%Sc合金薄膜12をスパッタ法により堆積する。この後、同図(b)では、350℃から600℃の温度で熱処理を行い、大粒径Al-0.15%Sc合金薄膜13を形成する。しかる後、同図(c)では、フォトリソ法により第1層Al-0.15%Sc合金配線4を形成する。更に層間絶縁膜5を形成し、ビアホール6をフォトリソ法により開口し、タングステンプラグ7により前記ビアホール6を埋め込み、800nm厚Al-0.15%Sc合金薄膜をスパッタ法により堆積し350℃から600℃の温度で熱処理を行い、しかる後、フォトリソ法により第2層Al-0.15%Sc合金配線8を形成する。更に、これらの構造をシリコン窒化膜、シリコン酸化膜などからなるパシベーション膜9により被覆する。

【0017】上記実施例で、Al-Sc合金堆積後350℃から600℃の温度で熱処理を行っているが、これは上記実施例中に簡単に述べたようにスパッタ堆積されたAl-Sc合金の結晶粒径を大きくすることを目的としたものである。通常、Al-Sc合金薄膜の結晶粒径は、例えば膜厚が800nmであれば、堆積直後で100nmから300nm程度で有り、450℃、30分間の熱処理を行うことにより1μmから2μm程度にまで成長する。図4に一例としてAl-Sc薄膜の430℃熱処理後の平面TEM写真を示す。この結晶粒成長操作によりAl-Sc合金配線4, 8の構造をバンパー構造とし、1μm幅以下のアルミ配線のエレクトロマイグレーション耐性を向上させることができる。現在、量産現場でよく用いられているAl-Si-Cu薄膜の場合、熱処理を行わずにフォトリソを行っているが、Al-Si-Cu薄膜の形成後の結晶粒径は1μmから3μm程度であり、したがって熱処理を施したAl-Sc薄膜は従来のドライエッチ条件を用いて簡単にエッチングすることができる。

【0018】図5に同一スパッタ堆積装置を用いて、Al-0.15%Sc, Al-1%Si-0.5%Cu, 純Alを800nm堆積した直後、および430℃熱処理後のヌーブ硬さ、図6にシート抵抗の変化を示す。Al-Sc合金は熱処理により純Alと全く同等のシート抵抗、いわゆる配線電気抵抗となり、かつAl-Si-Cu合金、純Alに比較して硬く、大規模集積回路に用いるアルミ配線材料として、より適していると考えられる。

【0019】図7(a), (b)に430℃熱処理後の800nm厚Al-0.15%Sc合金薄膜（本発明）、Al-1%Si-0.5%Cu合金薄膜（従来法）の表面荒さをアルファステップで測定した結果を示す。この表面荒さプロファイルは、いわゆるヒロックに相当するものである。Al-1%Si-0.5%Cu合金薄膜における方が、ヒロックの数も多く、かつ、その高さも高く、高いものでは400nmにも及ぶが、一方、Al-0.15%Sc合金薄膜においては、数も少なく、高さも、高々100nm以下である。したがってAl-Sc合金薄膜を用いたアルミ配線においては、とくに多層配線工程において層間絶縁

膜により絶縁された第1層アルミ配線と第2層アルミ配線とのヒロックによる絶縁膜破壊を原因とした不良発生を防止することができる。

【0020】次に530℃熱処理後の高温モードでのアルミ配線の挙動について述べる。図8に本発明と従来法による0.6 μ mラインアンドスペース、膜厚400nmの微細配線の断線率を示す。配線材料が従来から用いられてきた純Al、Al-Si-Cuの場合には、不良率はそれぞれ82.5%、6.8%であるが、一方、本発明によるAl-0.15%Sc合金配線の場合には0%であった。図9は広い配線部での配線形状の変化を示す。Al-Si-Cu配線の場合には、配線エッジ部に数 μ mから10 μ m程度の大きさの欠け、いわゆるボイドが見られるが、本実施例で示したAl-Sc配線においてはボイドは一切観察されなかった。

【0021】従来の技術の第2の構造を用いた場合、例えば、アルミニウム(Al)と遷移金属であるコバルト(Co)と一緒に被着した場合、金属間化合物が形成されるが、この構造においては、粒界においてAlの移動を阻止するだけで空孔の形成を低減させる効果はあまりないと特公昭55-31619に述べられている。一方、図20(b)に示すように本発明においては、アルミニウムとスカンジウムとの化合物44がアルミニウムの結晶粒内、つまり結晶粒界52に囲まれた領域に析出されることが実験で確かめられている。この析出物に基づく時効硬化によってアルミニウム配線を強化するので、転位の発生が抑えられ、ストレスマイグレーションに強い。更に、化合物44とアルミニウム43との格子定数のミスマッチが起こり、歪が発生する。この歪によって、空孔45がトラップされるため、結晶粒内の空孔の移動を抑制し、ボイドの発生を抑える。このため、ボイドの発生による配線抵抗の上昇を抑制できる。従って本発明を用いることにより、従来の技術の第2の構造に比べ、ストレスマイグレーションに強い配線を形成することができる。

【0022】アルミニウム配線中にアルミニウムとスカンジウムとの化合物が形成される場合、化合物の種類により結晶の格子定数が変化し、配線の信頼性に差が生じる。化合物の格子定数がアルミニウムの格子定数に比べて同程度である場合は、歪みの少ない良好な結晶を形成でき、しかも空孔45をトラップしやすい。しかし、化合物の格子定数とアルミニウムの格子定数の間に大きな差がある場合、例えば、ミスマッチが103%以上の場合は、ミスマッチの度合につれて空孔45をトラップする能力は高まるが、結晶の整合性が悪くなり、欠陥が多数発生し、配線の信頼性に深刻な影響を及ぼすと考えられる。たとえば、化合物としてAl3Sc47が形成される場合、Al3Sc47の格子定数は4.10オングストロームとなり、Al46の格子定数4.05オングストロームの101.2%となるので、歪みの少ない良好な結晶を形成でき、そのためエレクトロマイグレーションやストレスマイグレーション耐性の高い配線を形成することが可能となる(図21(a))。一方、アルミニウムへのスカンジウムの添加量を増やしていくと、化合物としてAl3Sc47以外にAl2Sc50又は/及びスカンジウムが析出され易くなる。Al2Sc50の格子定数は7.58オングストロームとなり、Al46の格子定数4.05オングストロームの187%となるので、結晶の整合性が悪くなり、欠陥が多数発生し、エレクトロマイグレーションやストレスマイグレーション不良が発生しやすくなる(図21(b))。

【0023】図10にウエファールレベルで試験したエレクトロマイグレーション特性を示す。基板温度は200℃、試験したアルミ配線幅は1.2 μ m、電流密度は4.2x10⁶A/cm²である。Al-Si-Cu配線では5時間程度で断線に至り不良と成ったが、本発明によるAl-0.15%Sc配線では15時間を経過しても断線不良には至らなかった。アルミニウムと遷移金属との金属間化合物の領域を有するアルミニウム配線においては、金属間化合物39が配線中に層状に形成されている場合(従来技術の第1の構造)、金属間化合物39の上下に位置するアルミニウム38、40にエレクトロマイグレーションによる空乏(ボイド)41、42が発生したとき、金属間化合物39により配線の連続性は維持されるが、高抵抗の金属間化合物39に配線を通れる全電流が集中するために、自己発熱により配線温度が上昇し、ボイド41、42が成長していくので、時間とともに配線抵抗が増加してしまうという問題がある(図20(a))。アルミニウムと遷移金属と一緒に被着することにより金属間化合物を形成したアルミニウム配線(従来技術の第2の構造)においては、従来技術の第1の構造に比べてエレクトロマイグレーション寿命が短くなるという問題がある。しかし、本発明においては、アルミニウム配線の結晶粒内に実質的に均一に分散させてアルミニウムとスカンジウムとの化合物44を形成するので、結晶粒内における、アルミニウムと空孔45の移動を抑制できる(図20(b))。さらに、従来技術の第1の構造にみられるような抵抗上昇によるエレクトロマイグレーション不良を抑止できる。

【0024】なお、本実施例では第1層、第2層アルミ配線からなる2層配線プロセスを例にとり説明したが、3層、あるいはそれ以上の層数の配線プロセスに適用できることは言うまでもない。また、Al-Sc合金配線の厚さも通常の大規模集積回路に用いられている厚さ(例えば、100nmから1500nm程度)であれば、エッチング特性も含め、本発明がもたらす配線性能を劣化させる要因は全くない。更に、最近の大規模集積回路においては、前述したエレクトロマイグレーション、ストレスマイグレーション耐性を向上させる為に、Ti、TiWなどの高融点材料とアルミ材料を積層した積層アルミ配線構造が用いられているが、本発明において前記積層構造を使用した場合にも、従来の積層アルミ配線構造よりも高信頼性化が実現できることは言うまでもない。

9

【0025】以上、説明したように、Scを不純物として含むアルミ配線、その形成にあたりAl-Sc合金薄膜を堆積後、熱処理を行うことを特徴とした形成方法によるAl-Sc配線を用いることにより、ストレスマイグレーション、エレクトロマイグレーションに極めて強い、高信頼性アルミ配線を実現することができた。

【0026】(実施例2) 図11は本発明の実施例2における半導体装置のアルミ配線構造を断面模式図である。3はシリコン基板1上の絶縁膜2に選択的に開口されたコンタクトホール、14はコンタクトホール3を介して堆積された高融点導電薄膜となる厚さ75nmのTi薄膜、4はTi薄膜14上に続いて堆積された厚さ400nmのAl-0.15%Sc合金、15はさらにAl-0.15%Sc合金4上に堆積された20nmのTi薄膜である。積層第1アルミ配線はTi薄膜14、Al-0.15%Sc合金4、Ti薄膜15からなり、前記シリコン基板1に結合されている。6は層間絶縁膜5に開口されたビアホールであり、前記積層第1アルミ配線はビアホール6中に埋め込まれたタングステンプラグ7を介して厚さ75nm Ti薄膜16、800nmのAl-S c合金8および20nm Ti薄膜17からなる第2アルミ配線に接続されている。これらの構造上はシリコン窒化膜、シリコン酸化膜などからなるパッシベーション膜9に被覆されている。

【0027】これらの配線構造においてアルミ配線4、8の主成分であるAlに0.01-0.5%のScを不純物として含み、かつ高融点導電薄膜を上下層膜として有することが本発明の特徴である。

【0028】図12は本発明の実施例2における半導体装置におけるアルミ配線を形成する工程断面図を示す。

【0029】同図(a)では半導体トランジスタを形成したシリコン基板1上に絶縁膜2を堆積し、コンタクトホール3を選択的に開口した後、7.5nm厚のTi薄膜14、400nm厚のAl-0.15%Sc合金薄膜12および20nm Ti薄膜15をスパッタ法により堆積する。

【0030】同図(b)ではこの後、350℃から600℃の温度で熱処理を行い、Al-0.15%Sc合金薄膜12から大粒径Al-0.15%Sc合金薄膜13を形成し、しかる後に、フォトリソ法により第1層Al-0.15%Sc合金配線を形成する。

【0031】同図(c)では更に層間絶縁膜5を形成し、ビアホール6をフォトリソ法により開口する。タングステンプラグ7により前記ビアホール6を埋め込み、75nm厚Ti薄膜16、800nm厚Al-0.15%Sc合金薄膜および20nm Ti薄膜17をスパッタ法により堆積し350℃から600℃の温度で熱処理を行い、第1層合金配線と同様に大粒径Al-0.15%Sc合金薄膜とする。しかる後、フォトリソ法により第2層Al-0.15%Sc合金配線8を形成する。更に、これらの構造をシリコン窒化膜、シリコン酸化膜などからなるパ

10

シベーション膜9により被覆する。

【0032】上記実施例で、Al-S c合金堆積後350℃から600℃の温度で熱処理を行っているが、これは上記実施例中に簡単に述べたようにスパッタ堆積されたAl-S c合金薄膜の結晶粒径を大きくさせることを目的としたものである。通常、Al-S c合金薄膜の結晶粒径は、例えば膜厚が800nmであれば、堆積直後で100nmから300nm程度であり、450℃、30分間の熱処理を行うことで1μmから2μm程度にまで成長する。この結晶粒成長操作によりAl-S c合金配線5、11の構造をバンパー構造とし、1μm幅以下のアルミ配線のエレクトロマイグレーション耐性を向上させることができる。現在、量産現場でよく用いられているAl-S i-C u薄膜の場合、熱処理を行わずにフォトリソ法を行っているが、Al-S i-C u薄膜の形成後の結晶粒径は1μmから3μm程度であり、したがって熱処理を施したTi/Al-S c合金薄膜/Tiは従来のドライエッチ条件を用いて簡単にエッチングすることができる。

【0033】以上のように本実施例によれば、アルミ配線材料としてScを添加したAl-S c合金を用い配線の硬度を高め、かつ高融点導電薄膜(例えばTi)と積層構造にさせ、更にAl-S c合金薄膜形成後、熱処理を行い結晶粒を配線幅以上に大きくすることによって、Al-S c薄膜単体に比べ、大規模集積回路における実用的な温度、電流ストレスの印加を行ってもストレスマイグレーション、エレクトロマイグレーション耐性の強いアルミ配線を形成することを可能にする。また高融点導電薄膜を敷くことによって表面モフォロジーが更に良くなり、超微細な半導体装置の製造に大きく寄与する。

【0034】上記実施例ではTiを用いて説明したが、Ta、Mo、W Si、Ti W、Cr Ti Nなどの高融点導電薄膜を用いても同様な効果が得られることは言うまでもない。さらに、上記実施例ではTi膜厚を下層、上層それぞれ75nm、20nmで行ったが、5~200nmの膜厚で行っても同様な効果が得られること言うまでもない。

【0035】また本実施例では、Al-S c薄膜の上層及び下層に高融点導電薄膜を有した積層構造であるアルミ配線を示したが、Al-S c薄膜の上層または下層の一方に高融点導電薄膜を有した積層構造であるアルミ配線でも、Al-S c薄膜単体に比べストレスマイグレーション、エレクトロマイグレーション耐性がさらに強いアルミ配線を形成することが可能となる。覆する。

【0036】(実施例3) 図13は本発明の実施例3における多層配線構造の断面図を示すものである。以下の実施例では、Scを不純物として含んだAl合金をAl-S c合金と称することにする。シリコン基板1上に接続孔3が設けられた層間絶縁膜2が形成されており、前記層間絶縁膜2上に第1の配線としてAl-S c合金配

線 18、19 が形成されている。前記 A1-S c 合金配線 19 は、前記接続孔 3 に埋め込まれており、シリコン基板 1 に接続されている。さらに、前記 A1-S c 合金配線 18、19 及び前記層間絶縁膜 2 上に接続孔 6 が設けられた層間絶縁膜 5 が形成されており、前記層間絶縁膜 5 上に第 2 の配線として A1-S c 合金配線 18、19 が形成されている。前記 A1-S c 合金配線 20 は、前記接続孔 6 に埋め込まれており、前記 A1-S c 合金配線 18 に接続されている。これらの構造はパッシベーション膜 9 で被覆されている。

【0037】なお、本実施例においては、A1-S c 合金配線 18、19、20、21 の材料に Si、Cu、Ti、Ge、Hf、B 等の元素を添加した A1-S c 合金を用いても良い。また、図 15 に示したように、A1-S c 合金配線 18、19、20、21 の下部に Ti、TiN、TiW、W、TiSi₂、WSi₂、Mo、MoSi₂ 等の導電膜 22、23、24、25 を形成した積層構造でも良い。この場合は、A1-S c 合金膜の下に導電膜を形成することにより、A1-S c 合金膜の単層膜に比べてエレクトロマイグレーション、ストレスマイグレーション耐性を向上させる効果がある。

【0038】なお、本実施例においては、2 層配線の構造を示したが、3 層以上の多層配線構造においても同様の効果がある。

【0039】図 14 は本発明の実施例 3 における多層配線構造の製造方法を示すものである。まず、図 14 a では半導体素子を形成したシリコン基板 1 上に、層間絶縁膜 2 を形成し、900℃の雰囲気中で熱処理を行う。次にフォトリソグラフィ法とドライエッチング法を用いて接続孔 3 を開口する。層間絶縁膜 2 には、CVD 法による B 及び P を含んだシリコン酸化膜を用いる。シリコン酸化膜の膜厚は 0.8 μm 程度が良い。

【0040】次に図 14 b では層間絶縁膜 2 上に A1-S c 合金配線 18、19 を形成する。A1-S c 合金配線 18、19 の形成には、基板温度を 300℃から 550℃の間に保持した状態で堆積を行うスパッタリング法を用いる。この形成法を用いた場合、A1-S c 合金膜が高温にさらされながら堆積されるため、堆積の過程で A1-S c 合金膜の流動が起こり、接続孔 3 に A1-S c 合金配線 19 を完全に埋め込むことが可能になる。A1-S c 合金配線 18、19 の厚さは、0.3 μm から 1.0 μm に設定する。また、A1-S c 合金配線 18、19 は、フォトリソグラフィ法とドライエッチング法を用いて形成する。

【0041】次に図 14 c では層間絶縁膜 2 及び A1-S c 合金配線 18、19 上に層間絶縁膜 5 を形成し、層間絶縁膜 5 の平坦化を行う。層間絶縁膜 5 にはプラズマ CVD 法を用いたシリコン酸化膜を使用し、平坦化には、レジストを用いたエッチバック法を使用している。次にフォトリソグラフィ法とドライエッチング法を用

いて接続孔 6 を開口する。

【0042】次に図 14 d ではスパッタリング装置内で Ar スパッタエッチングを行うことにより、接続孔 6 の底部の表面処理を行い、その後、層間絶縁膜 5 上に A1-S c 合金配線 20、21 を形成する。A1-S c 合金配線 20、21 の形成には、A1-S c 合金配線 18、19 の形成方法について示したように、基板温度を 300℃から 550℃の間に保持した状態で堆積を行うスパッタリング法を用いる。この形成法を用いた場合、A1-S c 合金膜が高温にさらされながら堆積されるため、堆積の過程で A1-S c 合金膜の流動が起こり、接続孔 6 に A1-S c 合金配線 20 を完全に埋め込むことが可能になる。A1-S c 合金配線 20、21 の厚さは、0.3 μm から 1.5 μm に設定する。また、A1-S c 合金配線 20、21 は、フォトリソグラフィ法とドライエッチング法を用いて形成する。

【0043】最後に、図 14 e では P を含んだシリコン酸化膜とシリコン窒化膜の積層構造から成るパッシベーション膜 9 を全面に形成する。

【0044】なお、本実施例においては、図 16 に示したように、A1-S c 合金配線 18、19、20、21 を形成する前に、Ti、TiN、TiW、W、TiSi₂、WSi₂、Mo、MoSi₂ 等の導電膜 22、23、24、25 を形成しても良い。この場合は、A1-S c 合金膜と導電膜とを反応させることによって、接続孔側壁に対する A1-S c 合金膜のぬれを改善して、埋め込みを容易にする効果がある。

【0045】（実施例 4）図 17 は本発明の実施例 4 における半導体装置のアルミ配線構造を断面模式図である。シリコン基板 1 上の絶縁膜 2 に選択的に開口されたコンタクトホール 3 を介して厚さ 50 nm の S c 薄膜 26 を堆積し、続いて厚さ 400 nm の A1-1% Si-0.5% Cu 合金薄膜 27、さらに 10 nm の S c 薄膜 28 からなる積層第 1 アルミ配線が前記シリコン基板 1 に結合され、さらに前記積層第 1 アルミ配線は層間絶縁膜 5 に開口されたヴィアホール 6 中に埋め込まれたタングステンプラグ 7 を介して、厚さ 50 nm S c 薄膜 29、800 nm の A1-1% Si-0.5% Cu 合金薄膜 30 および 10 nm S c 薄膜 31 からなる積層第 2 アルミ配線に接続され、これらの構造上はシリコン窒化膜、シリコン酸化膜などからなるパッシベーション膜 9 に被覆されている。これらの配線構造において積層第 1、第 2 アルミ配線がアルミ合金薄膜 27、30 の上下に S c 薄膜 26、28、29、31 を有していることが本発明の特徴である。

【0046】図 18 に本発明の実施例 4 における半導体装置におけるアルミ配線を形成する工程断面図を示す。半導体トランジスタを形成したシリコン基板 1 上に絶縁膜 2 を堆積し、コンタクトホール 3 を選択的に開口した後、50 nm 厚の S c 薄膜 26、400 nm 厚の A1-1% Si-0.5% Cu 合金薄膜 27 および 10 nm S c 薄膜 28 を

13

スパッタ法により堆積する (a)。

【0047】この後、フォトエッチ法によりSc薄膜26、Al-1%Si-0.5%Cu合金薄膜27、Sc薄膜28を加工し、積層第1アルミ配線パターンを形成する。しかる後に、350℃から600℃の温度で熱処理を行い、ScをAl-1%Si-0.5%Cu薄膜27中に拡散34を行なう (b)。

【0048】更に、層間絶縁膜5を形成し、ビアホール6をフォトエッチ法により開口し、タングステンプラグ7により前記ビアホール6を埋め込み、50nm厚Sc薄膜29、800nm厚Al-1%Si-0.5%Cu合金薄膜30および10nmSc薄膜31をスパッタ法により堆積し、フォトエッチ法によりSc薄膜29、Al-1%Si-0.5%Cu合金薄膜30、Sc薄膜31を加工し、積層第2アルミ配線パターンを形成する。しかる後に、350℃から600℃の温度で熱処理を行い、ScをAl-1%Si-0.5%Cu薄膜30中に拡散35を行なう。更に、これらの構造をシリコン窒化膜、シリコン酸化膜などからなるパッシベーション膜9により被覆する (c)。

【0049】以上のように本実施例は、アルミ配線としてAl合金とScとを積層構造にさせ、Al合金配線形成後熱処理を行い、ScをAl合金配線中に拡散させAl合金配線の硬度を高めることによって、大規模集積回路における実用的な温度、電流ストレスの印加を行ってもストレスマイグレーション、エレクトロマイグレーション耐性の強いアルミ配線を形成することを可能にする。

【0050】なお上記実施例では、Al合金としてAl-1%Si-0.5%Cuを用いて説明したが、Al-Si、Al-Sc、Al-PdなどのAl合金を用いても同様な効果が得られることは言うまでもない。また、上記実施例ではSc膜厚を下層、上層それぞれ50nm、10nmで行ったが、1~200nmの膜厚で行っても良く、また下層、上層のいずれか一方にSc薄膜を配置させた場合でも同様な効果が得られることは言うまでもない。

【0051】なお、Al合金、Scはスパッタ法やCVD法により形成可能である。本実施例では、図17、図18でタングステンプラグ7を用いて説明したが、300~600℃の基板温度でスパッタするAl高温スパッタ法により、コンタクトホール、ビアホールを埋め込んでも同様な効果が得られることは言うまでもない。

【0052】

【発明の効果】以上のように本発明は、アルミ配線材料としてScを添加したAl-Sc合金を用い、配線の硬度を高め、更にAl-Sc合金薄膜形成後、熱処理を行い結晶粒を配線幅以上に大きくすることにより、大規模集積回路における実用的な温度、電流ストレスの印加を行ってもストレスマイグレーション、エレクトロマイグレーション耐性の強いアルミ配線を形成することを可能にするもの

14

であり、超微細な半導体装置の製造に大きく寄与するものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1における半導体装置のアルミ配線構造を示す断面模式図

【図2】従来の方法による半導体装置のアルミ配線構造を示す断面模式図

【図3】本発明の実施例1における半導体装置におけるアルミ配線を形成する工程断面図

10 【図4】本発明の実施例1におけるAl-Sc薄膜の430℃熱処理後の粒子構造を示した平面TEM写真

【図5】本発明の実施例1におけるAl-0.15%Sc合金膜、および従来から用いられているAl-1%Si-0.5%Cu、純Al膜の430℃熱処理によるヌープ硬さの変化特性図

【図6】本発明の実施例1におけるAl-0.15%Sc合金膜、および従来から用いられているAl-1%Si-0.5%Cu、純Al膜の430℃熱処理による電気的シート抵抗変化特性図

20 【図7】本発明の実施例1における800nm厚Al-0.15%Sc合金膜、および従来から用いられているAl-1%Si-0.5%Cu、純Al膜の430℃熱処理後の表面荒さプロファイル図

【図8】本発明の実施例1におけるAl-Sc合金0.6μmラインアンドスペース、膜厚400nmの微細配線の530℃熱処理後の高温モード断線不良率を示した特性図

【図9】本発明の実施例1におけるAl-0.15%Sc、および従来用いられてきたAl-1%Si-0.5%Cu合金による広い配線部 (膜厚400nm) のでの530℃熱処理後の形状変化を示した図

30 【図10】本発明の実施例1における1.2μm幅のAl-Sc合金配線、及び従来用いられてきたAl-Si-Cu合金配線のエレクトロマイグレーション特性図

【図11】本発明の実施例2における半導体装置のアルミニウム配線構造を示す断面模式図

【図12】同実施例における半導体装置のアルミニウム配線を形成する工程断面図

【図13】本発明の実施例3における多層配線構造の断面図である。

【図14】同実施例における多層配線構造の工程断面図である。

40 【図15】本発明の他の実施例における多層配線構造の断面図である。

【図16】同実施例における多層配線構造の工程断面図である。

【図17】本発明の実施例4における半導体装置のアルミニウム配線構造を示す断面模式図

【図18】同実施例における半導体装置におけるアルミニウム配線の工程断面図

【図19】従来の方法による半導体装置のアルミニウム配線構造を示す断面模式図

50 【図20】従来の技術におけるアルミニウム配線構造と、本発明におけるアルミニウム配線構造の断面模式図

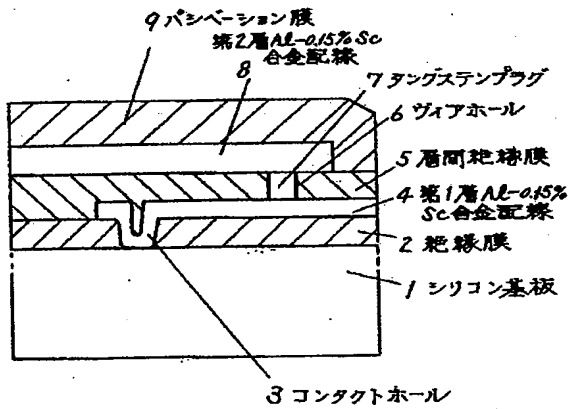
15

【図21】 アルミニウムとスカンジウムとの化合物と、
アルミニウムとの界面領域における結晶構造の模式図

【符号の説明】

- 1 シリコン基板
- 2 絶縁膜
- 3 コンタクトホール
- 4 第1層Al-0.15%Sc合金配線
- 5 層間絶縁膜
- 6 ヴィアホール
- 7 タングステンプラグ
- 8 第2層Al-0.15%Sc合金配線

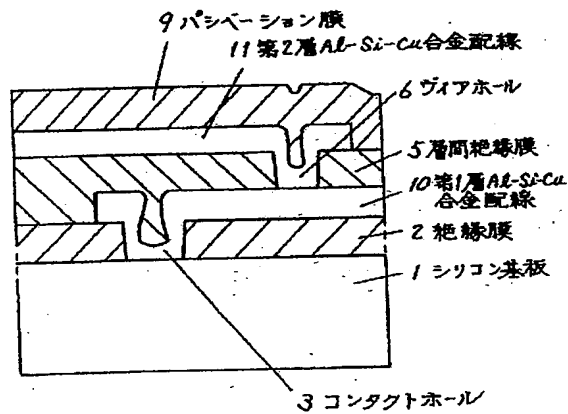
【図1】



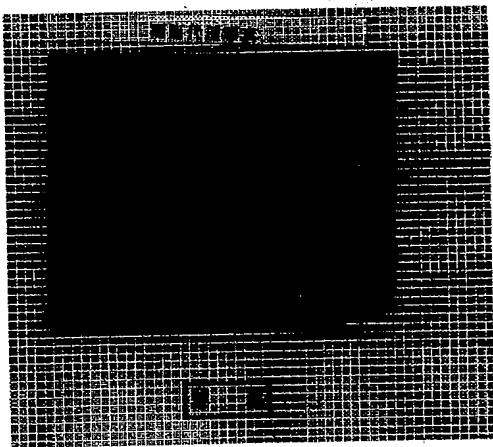
16

- *9 パッシベーション膜
- 10 第1層Al-Si-Cu合金配線
- 11 第2層Al-Si-Cu合金配線
- 12 Al-0.15%Sc合金薄膜
- 13 大粒径Al-0.15%Sc合金薄膜
- 14, 15, 16, 17 Ti薄膜
- 18, 19, 20, 21 Al-Sc合金配線
- 22, 23, 24, 25 導電膜
- 26, 28, 29, 31 Sc薄膜
- 10 27, 30 Al-1%Si-0.5%Cu合金薄膜
- * 34, 35 Scの拡散

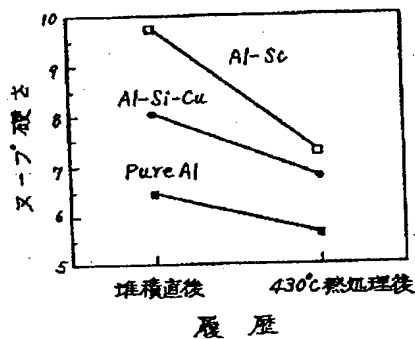
【図2】



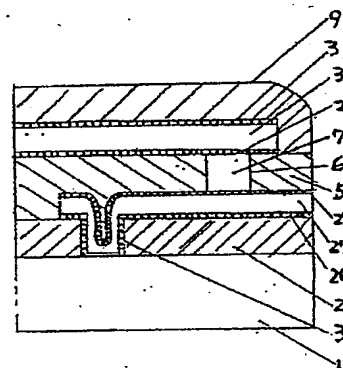
【図4】



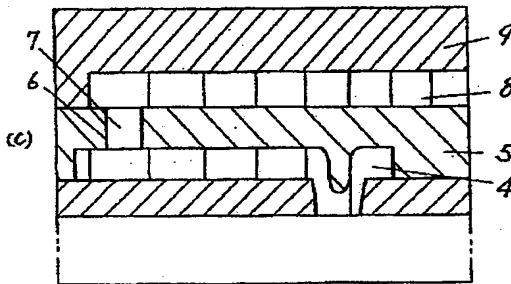
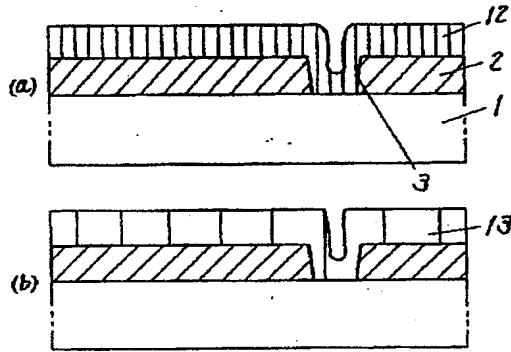
【図5】



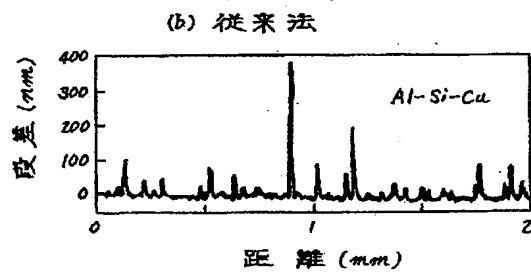
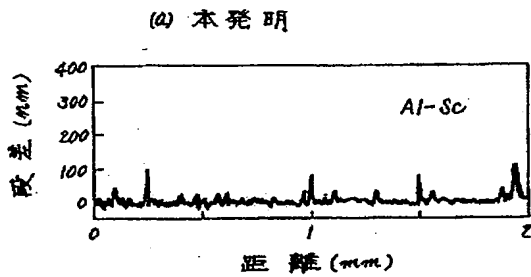
【図17】



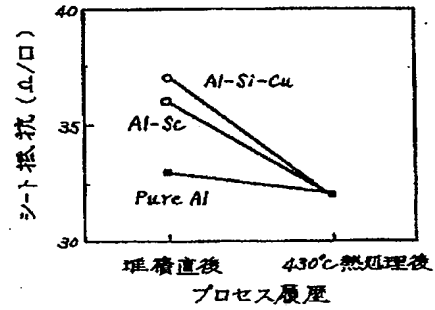
【図3】



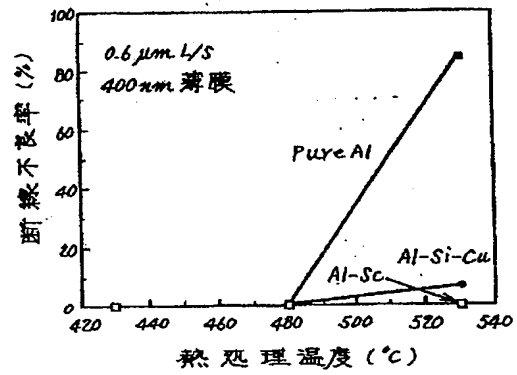
【図7】



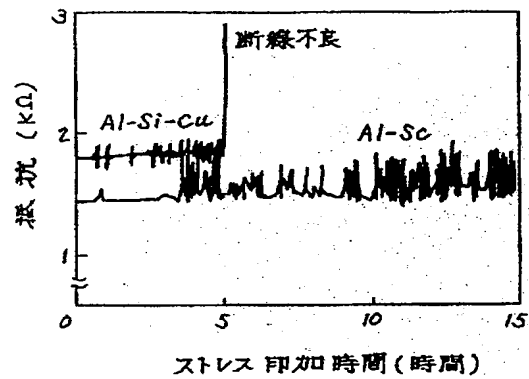
【図6】



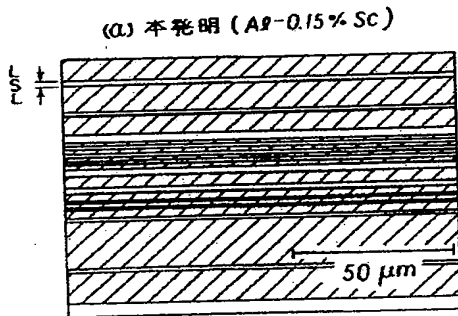
【図8】



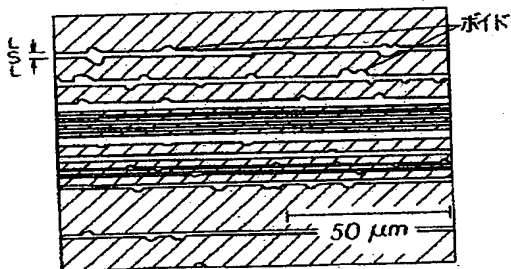
【図10】



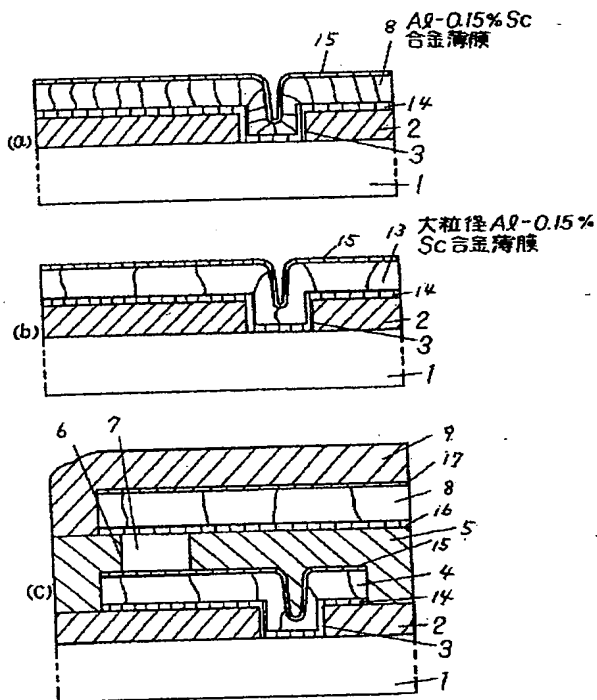
【図9】



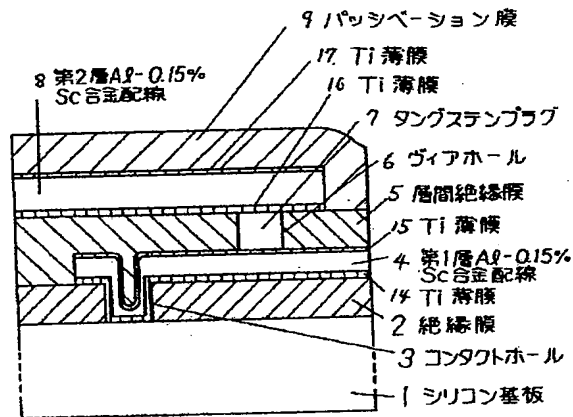
(b) 従来法 (Al-1% Si-0.5% Cu)



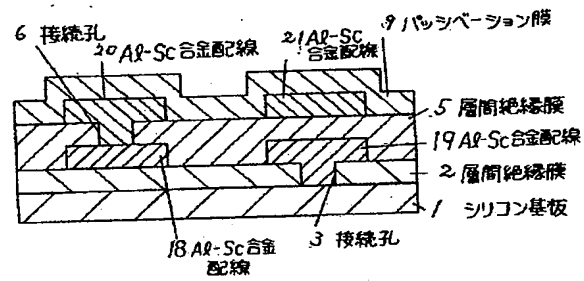
【図12】



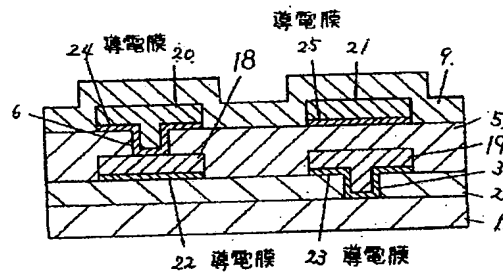
【図11】



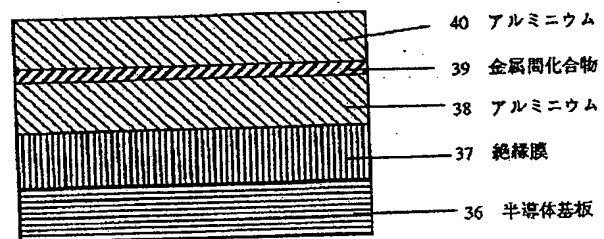
【図13】



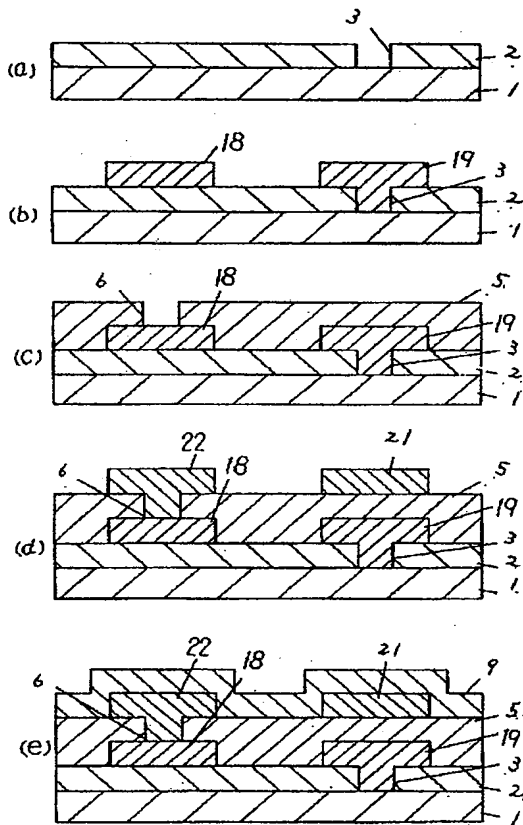
【図15】



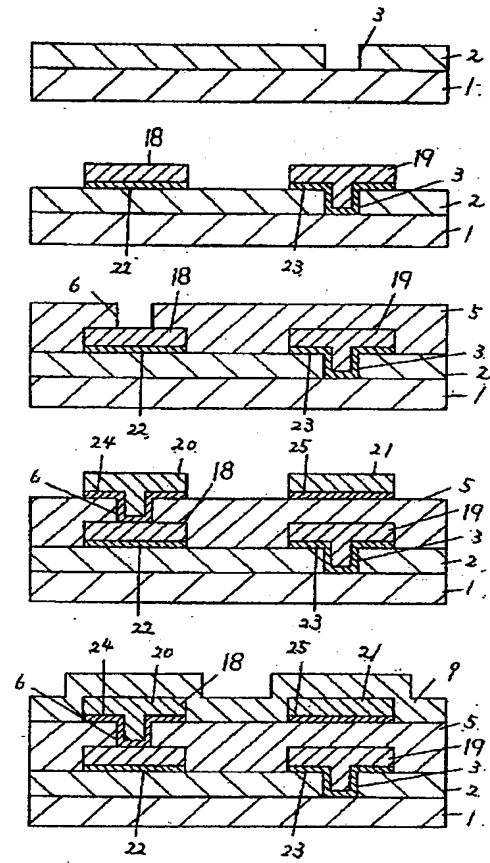
【図19】



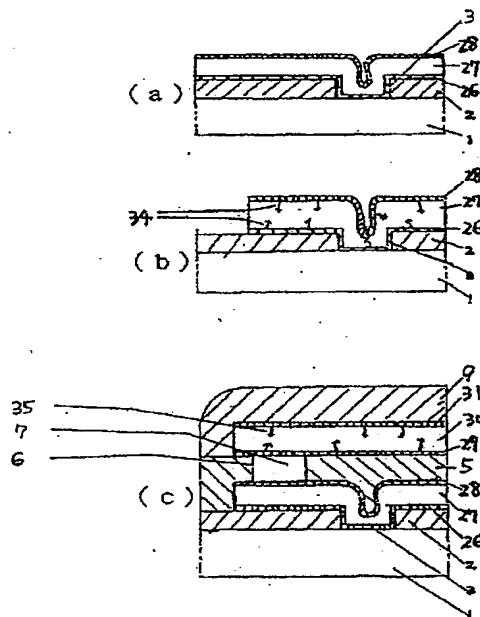
【図14】



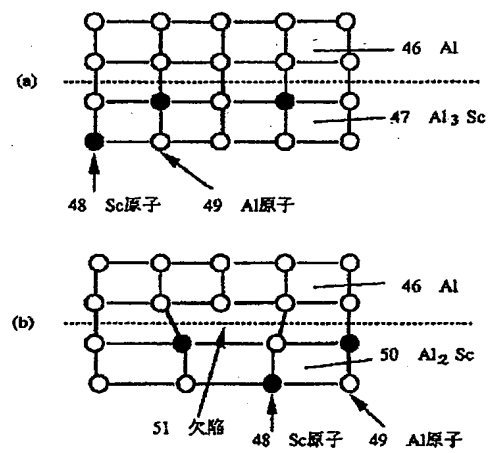
【図16】



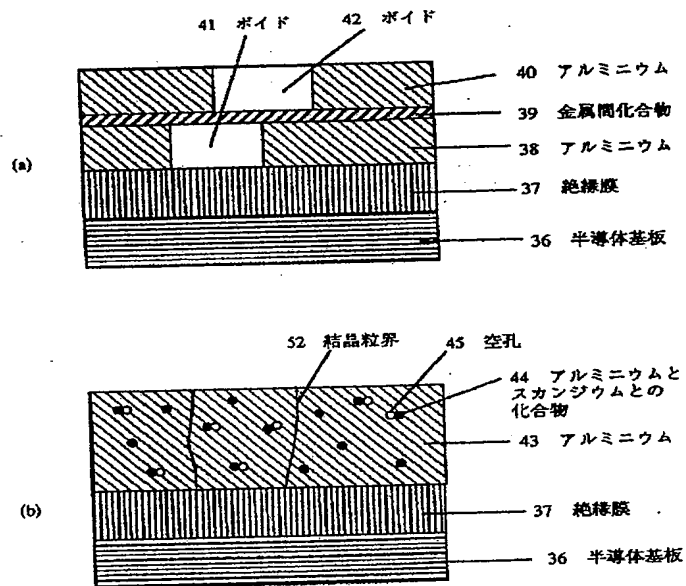
【図18】



【図21】



【図 20】



フロントページの続き

- (31) 優先権主張番号 特願平3-322685
 (32) 優先日 平3(1991)12月6日
 (33) 優先権主張国 日本(JP)